



**Reestructuración del diseño de la cubierta o cover para los dispositivos de asistencia de miembro superior Unlimbited**

Santiago José Díaz Gómez

Trabajo de grado presentado para optar al título de Bioingeniero

Asesoras

Juliana Uribe Pérez, Doctora (PhD)

Victoria Marcela Olascuaga Romero, Ingeniera Biomédica

Universidad de Antioquia

Facultad de Ingeniería

Bioingeniería

Medellín, Antioquia, Colombia

2024

**Referencia**

Estilo IEEE (2020)

- [1] S. Diaz Gómez, “Reestructuración del diseño de la cubierta o cover para los dispositivos de asistencia de miembro superior Unlimbited”, Trabajo de grado profesional, Bioingeniería, Universidad de Antioquia, Medellín, Antioquia, Colombia, 2024.



Centro de Documentación de Ingeniería (CENDOI).

**Repositorio Institucional:** <http://bibliotecadigital.udea.edu.co>

Universidad de Antioquia - [www.udea.edu.co](http://www.udea.edu.co)

**Rector:** John Jairo Arboleda Céspedes.

**Decano:** Julio César Saldarriaga Molina.

**Jefe departamento:** John Fredy Ochoa Gómez.

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

## **Dedicatoria**

Este proyecto de grado se lo dedico principalmente a mis padres y a mi abuela Nelda. A mi madre por sus consejos, sus palabras de ánimo cuando creía que no podía más, por su apoyo incondicional, por ser un ejemplo a seguir de fortaleza, trabajo arduo, resiliencia y superación. A mi padre por su apoyo económico infaltable, por apoyarme a cumplir mis sueños y deseos desde que era un adolescente, sin ti no hubiese tenido la oportunidad de estudiar en una de las mejores universidades del país ni en la ciudad de mis sueños. A mi abuela Nelda, que no se encuentra en este mundo, pero sé que estaría feliz de que finalmente lo logré, no me verás graduarme presencialmente, pero sé que en el fondo de mi mente y corazón estarás ahí presente en ese momento, sé que estarías muy orgullosa de tener a tu nieto mayor siendo un profesional. Finalmente, me lo dedico a mí mismo, porque a pesar de la soledad, las incontables noches sin dormir, las dificultades tanto personales como externas, las veces que creía que no lo iba a poder lograr, encontré la salida, y ¡lo logré! Como dice el refrán: “después de la tormenta, siempre sale el sol”.

## **Agradecimientos**

Agradezco primero que todo a la Universidad de Antioquia, por abrirme la mente, por permitirme salir de mi zona de confort y permitirme conocer a tantas personas tan diversas y plurales. Agradezco a los profesores que dejaron una huella incalculable de conocimiento y amor a la profesión, especialmente a los profesores Sofía Henao, Holmes, Andrés Noreña y Claudia Ossa. Además, a la profesora Juliana por ser mi asesora de prácticas, por las recomendaciones, las correcciones y el conocimiento compartido. A aquellos compañeros de clases que hicieron mi proceso mucho más llevadero, especialmente a mi amiga incondicional desde primer semestre Luisa, a Valentín, a Esteban y Natalia. Finalmente, y no menos importante agradezco a la corporación Humanos3D y a todos sus integrantes por confiar en mí, en mis conocimientos, en mi colaboración, por ser un espacio en el cual aprendí tanto, sobre todo aprendí que uno de los placeres más bonitos y reconfortantes de la vida es ayudar a otros sin recibir nada a cambio, con tan solo una sonrisa o un “gracias” resultaba suficiente.

## TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN.....	8
ABSTRACT .....	9
I. INTRODUCCIÓN .....	10
II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	11
III. OBJETIVOS.....	12
A. Objetivo general .....	12
B. Objetivos específicos.....	12
1. Desarrollar un diseño de cubierta más cómodo para que el beneficiario no resulte maltratado al momento de la colocación o del retiro del dispositivo de asistencia Unlimbited.	
12	
2. Validar la funcionalidad de la cubierta para el dispositivo Unlimbited con los beneficiarios.....	12
IV. MARCO TEÓRICO Y ANTECEDENTES.....	13
V. METODOLOGÍA .....	15
A. Fase 1: Investigación inicial.....	15
B. Fase 2: Diseño de conceptos innovadores.....	16
C. Fase 3: Evaluación de conceptos de diseño .....	16
D. Fase 4: Evaluación de viabilidad técnica .....	16
E. Fase 5: Desarrollo de la cubierta.....	16
F. Fase 6: Validación por expertos y beneficiario.....	21
VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	22
A. Diseño de la cubierta en el software Fusion 360.....	22
B. Requerimientos y métricas del cover para el dispositivo de asistencia Unlimbited .....	23
1. Estético:.....	23
2. Facilidad de uso.....	24

3.	Cómodo: .....	24
4.	Liviano .....	24
C.	Validación de la cubierta por el beneficiario .....	25
VII.	CONCLUSIONES .....	26
VIII.	RECOMENDACIONES .....	27
IX.	REFERENCIAS .....	29
X.	ANEXOS.....	30

## LISTA DE FIGURAS

Fig. 1 Hero Arm. ....	14
Fig. 2 Armpo. ....	14
Fig. 3 Vista posterior del antebrazo y vista anterior de la palma Unlimbited, respectivamente. ....	17
Fig. 4 Vista de la parte superior del antebrazo de la Unlimbited. ....	17
Fig. 5 Diseño inicial de la cubierta y de la palma con orificio, respectivamente. ....	18
Fig. 6 Muesca y unión de la palma, arandela y cubierta, respectivamente. ....	19
Fig. 7 Parámetros de impresión 3D de la palma en el software FlashPrint. ....	20
Fig. 8 Parámetros de impresión 3D de la cubierta en el software FlashPrint. ....	20
Fig. 9 Unlimbited con cubierta rediseñada. ....	21
Fig. 10 Vista anterior y posterior de la palma con orificio diseñado respectivamente. ....	22
Fig. 11 Cubierta final con velcros colocada al beneficiario. ....	25

## SIGLAS, ACRÓNIMOS Y ABREVIATURAS

<b>g</b>	Gramos
<b>H3D</b>	Humanos 3D
<b>mm</b>	Milímetros
<b>PLA</b>	Ácido poliláctico
<b>UdeA</b>	Universidad de Antioquia

## RESUMEN

El presente estudio se enmarca dentro los dispositivos de asistencia para miembro superior, y tiene como objetivo principal diseñar las cubiertas para potenciar tanto su funcionalidad como su estética. La metodología de diseño adoptada abarcará investigación exhaustiva, generación de conceptos innovadores, creación de prototipos y evaluación de usabilidad en colaboración directa con los beneficiarios. Este enfoque busca proporcionar a los beneficiarios una experiencia más cómoda y libre de molestias, contribuyendo así a la mejora de su calidad de vida y de su autoestima, lo que se traduce en un mayor uso del dispositivo.

Los resultados obtenidos tras la aplicación de la metodología reflejan mejoras sustanciales en términos de estética, facilidad de uso, comodidad y peso de las cubiertas rediseñadas. Preguntas a beneficiarios e ingenieros indican una mayor satisfacción estética, y pruebas técnicas demuestran una apertura y cierre eficientes. Además, se evidencia una mejora en la comodidad, mientras que mediciones confirman que el peso de la Unlimbited con la nueva cubierta cumple con los estándares establecidos. En conclusión, este proyecto no solo ha logrado rediseñar las cubiertas de manera efectiva, sino que también ha validado su viabilidad técnica y su impacto positivo en la experiencia de los beneficiarios.

***Palabras clave* — Cubierta, cover, diseño, dispositivo de asistencia, miembro superior, Unlimbited, impresión 3D, discapacidad, amputación.**



## ABSTRACT

The present study is part of upper limb assistance devices, and its main objective is to redesign the covers to enhance both their functionality and aesthetics. The main objective is to redesign the covers to enhance both their functionality and aesthetics. The adopted design methodology encompasses thorough research, the generation of innovative concepts, prototyping, and usability assessment in direct collaboration with beneficiaries. This approach aims to provide beneficiaries with a more comfortable and hassle-free experience, thereby contributing to the improvement of their quality of life and self-esteem, translating into increased device usage.

The results obtained after applying the methodology reflect substantial improvements in terms of aesthetics, ease of use, comfort, and weight of the redesigned covers. Feedback from beneficiaries and engineers indicates increased aesthetic satisfaction, and technical tests demonstrate efficient opening and closing. An enhancement in comfort is evident, while measurements confirm that the weight of the Unlimbited with the new cover complies with established standards. In conclusion, this project has not only successfully redesigned the covers but has also validated their technical feasibility and positive impact on the beneficiaries' experience.

***Keywords* — Cover, design, assistive device, upper limb, Unlimbited, 3D printing, disability, amputation.**

## I. INTRODUCCIÓN

En el contexto actual, los dispositivos de asistencia de miembro superior desempeñan un papel esencial para aquellos que enfrentan retos en su movilidad debido a discapacidades. Estos dispositivos ofrecen independencia y apoyo a los usuarios en su vida diaria. Sin embargo, uno de los retos que persisten es la incomodidad experimentada por los beneficiarios al colocar y retirar las cubiertas de la línea de dispositivos Unlimbited, usada para amputaciones por debajo del codo.

El diseño actual de las cubiertas, aunque funcional, no prioriza suficientemente la experiencia del beneficiario ni la estética de este. Esto puede resultar en incomodidad lo que puede afectar su autoestima e independencia.

Este proyecto tiene como objetivo mejorar la calidad de vida de los beneficiarios al garantizar que la colocación y retirada de las cubiertas sean lo más cómodas y libres de molestias posible. Para lograrlo, se propone un proceso de diseño que incluye la investigación de soluciones confortables, la generación de conceptos de diseño innovadores, la creación de prototipos y la evaluación de la usabilidad en colaboración con beneficiarios, el cual se enfocará en mejorar la funcionalidad y la comodidad de las cubiertas, sin comprometer la viabilidad técnica. La colaboración con expertos en diseño biomecánico será fundamental para garantizar que las soluciones propuestas satisfagan las necesidades de los beneficiarios.

Conforme a ello, la forma en la que se realizará la propuesta es mediante una metodología basada en el diseño centrado en el usuario, que consiste en realizar un análisis de las necesidades y preferencias de los beneficiarios, generar varias alternativas de diseño, evaluarlas mediante pruebas y prototipos, y seleccionar la mejor opción.

Por todo lo anterior, se espera lograr una mejora significativa en la satisfacción y el bienestar de los beneficiarios, así como contribuir al desarrollo social e innovador de los dispositivos Unlimbited brindados por la organización Humanos 3D.

## II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En el ámbito de los dispositivos de asistencia para miembro superior, se destaca un problema significativo relacionado con la experiencia del beneficiario al utilizar las cubiertas del dispositivo Unlimited durante la colocación y retirada. A pesar de que este dispositivo ha demostrado ser una solución innovadora y accesible para amputaciones transradiales, la falta de atención a la comodidad y la estética de las cubiertas existentes plantea desafíos notables.

Las cubiertas actuales no priorizan adecuadamente la experiencia del beneficiario ni la apariencia general del dispositivo. Esta carencia puede resultar en una colocación incómoda y generar molestias en el uso diario, afectando negativamente la calidad de vida y la autoestima de los usuarios. Además, la ausencia de una cubierta externa puede causar inseguridad y limitar la aceptación social del dispositivo.

El problema se intensifica al considerar que las necesidades específicas de los beneficiarios no han sido abordadas integralmente en el diseño actual. La falta de comodidad y una apariencia completa puede disminuir la aceptación y la adopción generalizada del dispositivo, limitando su impacto positivo en la vida de las personas con amputaciones transradiales.

Frente a esta problemática, se vuelve esencial abordar la reestructuración del diseño de las cubiertas para el dispositivo Unlimited, centrándose en la comodidad, funcionalidad y estética, con el objetivo de mejorar significativamente la experiencia de los beneficiarios y promover una mayor aceptación y uso del dispositivo. Este planteamiento del problema fundamenta la necesidad y la relevancia de la presente tesis de grado.

### III. OBJETIVOS

#### A. *Objetivo general*

Diseñar y desarrollar un nuevo tipo de cubierta o cover para los dispositivos de asistencia para miembro superior denominados Unlimbited que satisfagan las necesidades de los beneficiarios y mejoren su funcionalidad.

#### B. *Objetivos específicos*

1. *Desarrollar un diseño de cubierta más cómodo para que el beneficiario no resulte maltratado al momento de la colocación o del retiro del dispositivo de asistencia Unlimbited.*
2. *Validar la funcionalidad de la cubierta para el dispositivo Unlimbited con los beneficiarios.*

#### IV. MARCO TEÓRICO Y ANTECEDENTES

La prótesis Unlimbited es un innovador dispositivo mecánico de bajo costo, ligero, accesible y fácil de ensamblar, diseñado para miembros superiores, específicamente para amputaciones transradiales (por debajo del codo), tanto en niños como en adultos. La Unlimbited Arm v2.1 - Alfie Edition [1] fue desarrollada en el año 2016 por el Team Unlimbited, con el objetivo de mejorar la calidad de vida, la autoestima y las relaciones interpersonales de las personas que enfrentan este tipo de amputación [2].

Este dispositivo consta de diversas partes o componentes, que incluyen un brazalete, un antebrazo, una palma, falanges, dedos y pines, todos ellos fabricados mediante impresión 3D utilizando filamentos de PLA (ácido poliláctico), un polímero termoplástico, además de tener nylon para garantizar el movimiento de los dedos. Es importante destacar que actualmente no incluye una cubierta externa, un componente que muchos beneficiarios desean tener para mejorar la estética del dispositivo y, en consecuencia, aumentar su autoestima.

Por esta razón, en la organización Humanos 3D, ingenieros especializados han desarrollado una cubierta específicamente diseñada para los dispositivos Unlimbited. Este diseño se ha creado utilizando el software Fusion 360 v2.0.17954 desarrollado por Autodesk, y se adapta de manera personalizada a las dimensiones del antebrazo de cada beneficiario [3].

Esta cubierta cumple un papel significativo al cubrir la amputación, lo que contribuye positivamente a la autoestima de los beneficiarios, además de brindar un aspecto estético más completo al dispositivo.

Por otra parte, respecto a los antecedentes más recientes de cubierta para prótesis de miembro superior con amputación transradial se tienen:

Hero Arm de OpenBioinics: Es una prótesis mioeléctrica de miembro superior impresa en 3D, la cual tiene una línea de cubiertas denominadas “Vortex covers”, este diseño es de PLA, personalizables y a la medida, diseñada para adultos, además se encuentran hasta en 12 colores distintos [4].



Fig. 1 Hero Arm.

*Nota.* Fuente <https://openbionics.com/en/hero-arm/>

- Armpo: Es un dispositivo de asistencia totalmente mecánico para personas con amputación transradial, impreso en 3D con filamentos de PLA. Este dispositivo posee un cover que se puede escalar junto con las demás piezas que lo componen dependiendo de las medidas de cada beneficiario [5].



Fig. 2 Armpo.

*Nota.* Fuente <https://www.thingiverse.com/thing:2803120>.

Ambos dispositivos ofrecen opciones de cubierta para mejorar la funcionalidad y la estética de los dispositivos de asistencia de miembro superior, brindando a las personas con amputaciones transradiales más opciones personalizadas y ajustadas a sus necesidades.

## V. METODOLOGÍA

Teniendo en cuenta que el objetivo general del presente trabajo es diseñar y desarrollar un nuevo tipo de cubierta o cover para los dispositivos de asistencia para miembro superior denominados Unlimbited que satisfagan las necesidades de los beneficiarios y mejoren la funcionalidad.

La metodología utilizada en el presente estudio posee un enfoque cualitativo que permite una comprensión más profunda de las necesidades de los beneficiarios y de la evaluación de la viabilidad técnica del nuevo diseño. Dicha metodología se realizó en distintas fases de acuerdo con los objetivos planteados:

- Objetivo específico 1: Desarrollar un diseño de cubierta más cómodo para que el beneficiario no resulte maltratado al momento de la colocación o del retiro del dispositivo de asistencia Unlimbited.

### A. *Fase 1: Investigación inicial*

Enfoque: Cualitativo (preguntas y observaciones).

Dado que los beneficiarios con los que trabaja la corporación son en su mayoría provenientes del proyecto de clínicas móviles, es decir, beneficiarios que son seleccionados en los distintos municipios alrededor del país, a través de convenios con alcaldías, gobernaciones, otras fundaciones u organizaciones, no fue posible realizar entrevistas a varios beneficiarios como se esperaba porque no había programación de estas, sino que se le hizo la entrevista a un beneficiario residente en la ciudad de Medellín, lugar en el cual se encuentra la sede de la corporación.

Se hicieron preguntas de forma verbal a varios beneficiarios y a los expertos en diseño de la corporación sobre los aspectos técnicos, revisión de la literatura y antecedentes de las cubiertas existentes [4],[5]. Posteriormente, se documentaron las necesidades de los beneficiarios, la identificación de las limitaciones y las oportunidades de diseño.

*B. Fase 2: Diseño de conceptos innovadores*

Enfoque: Creativo (generación de ideas).

Se tuvieron sesiones de lluvia de ideas con el equipo de diseño, para después considerar los conceptos de diseño innovadores, es decir, los diseños que serían más adecuados de realizar para un mayor beneficio de la corporación y por utilidad del diseño a crear. Luego, se determinó que la opción más útil y adecuada para realizar debía ser el rediseño de la cubierta para los dispositivos de asistencia Unlimited.

*C. Fase 3: Evaluación de conceptos de diseño*

Enfoque: Cualitativo.

Para empezar con el diseño de la cubierta se tuvieron en cuenta los aspectos técnicos de las cubiertas ya existentes, además se realizaron preguntas a los ingenieros acerca de los requerimientos que debía tener la nueva cubierta, entre los cuales se tuvo que, la cubierta debe ser estética, fácil de usar, liviana y cómoda. Todo lo anterior con el fin de que los beneficiarios muestren una mayor satisfacción y aceptación de las cubiertas rediseñadas, lo que puede traducirse en un mayor uso del dispositivo.

*D. Fase 4: Evaluación de viabilidad técnica*

Enfoque: Cualitativo (análisis ingenieril).

Se realizó un análisis del concepto de diseño de varias cubiertas realizadas en el software Fusion 360 para conocer cuál era el diseño más completo, viable y adecuado.

*E. Fase 5: Desarrollo de la cubierta*

Enfoque: Técnico (desarrollo de productos).



Se imprimieron varios prototipos de cubiertas en 3D, al igual que se ensamblaron y se probaron junto con el resto del dispositivo de asistencia Unlimbited para mirar si encajaba bien y funcionaba como era de esperarse.

A continuación, se muestra el proceso detallado de diseño realizado en el software Fusion360: En primer lugar, se tiene el antebrazo y la palma de la Unlimbited tal como se puede observar en la siguiente figura:

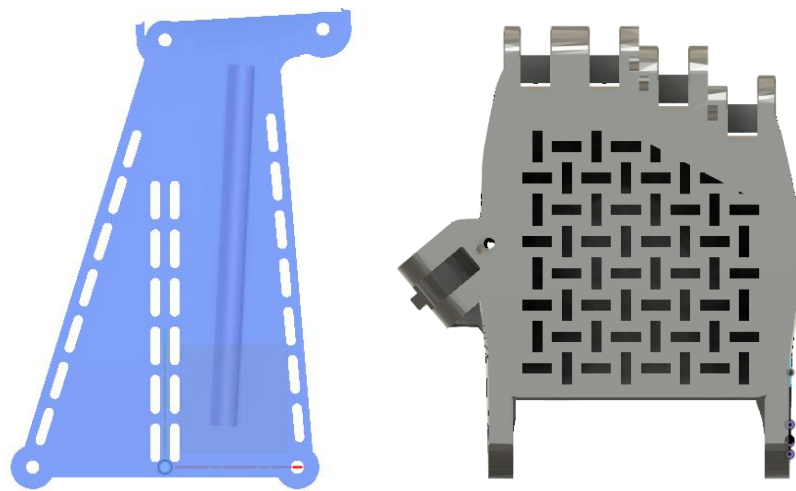


Fig. 3 Vista posterior del antebrazo y vista anterior de la palma Unlimbited, respectivamente.

Además, se puede observar en la siguiente figura que dicho antebrazo posee dos orificios con unas circunferencias de encaje para la palma.

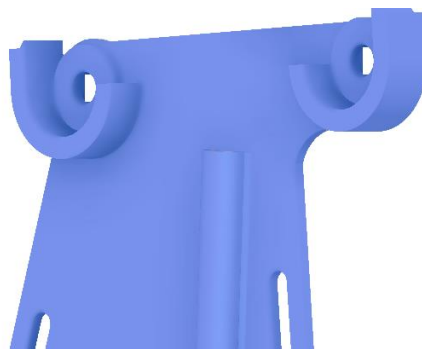


Fig. 4 Vista de la parte superior del antebrazo de la Unlimbited.

A partir de las piezas previas, se procede a empezar con el diseño de la cubierta, tal como se puede observar en la Fig. 5, en la cual se tiene un orificio ubicado en la parte superior para poder ensamblarlo a la parte anterior de la palma (orificio previamente realizado). Además, se tiene una abertura ubicada en la parte superior derecha, para cubrir el antebrazo luego del proceso de termoformado.

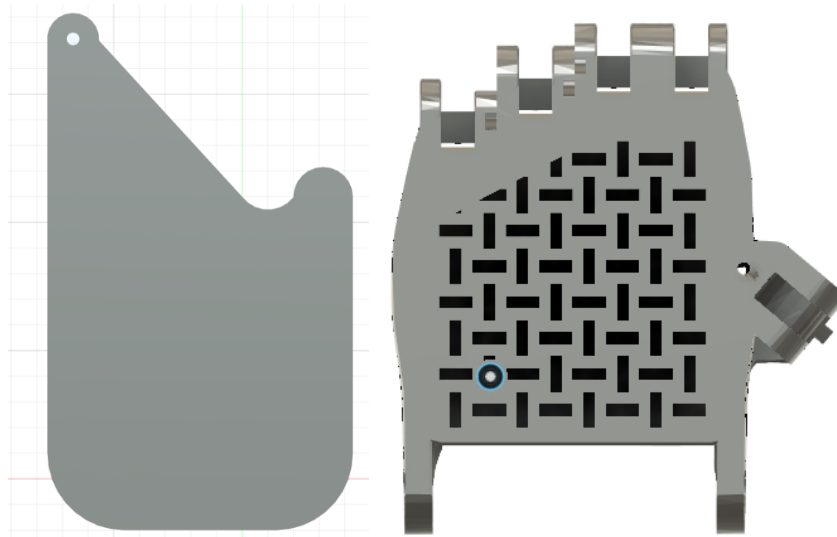


Fig. 5 Diseño inicial de la cubierta y de la palma con orificio, respectivamente.

Luego, se procedió a imprimir en 3D dicha cubierta, en la impresora FlashForce Guide IIS Series, con unos parámetros de impresión, y se ensambló con el antebrazo y palma previamente impresos con ayuda de un tornillo de unión, pero no funcionó adecuadamente, pues la cubierta quedaba muy floja.

Por lo anterior, se volvieron a diseñar otras cubiertas con una muesca en el orificio de la parte superior para aumentar el grosor y así impedir que quedase flojo nuevamente. Se encontró cuál debía ser el grosor adecuado de la muesca (3mm), teniendo en cuenta que se usó también una

arandela entre la palma y la cubierta, para garantizar la movilidad deseada. A continuación se puede observar lo comentado anteriormente.

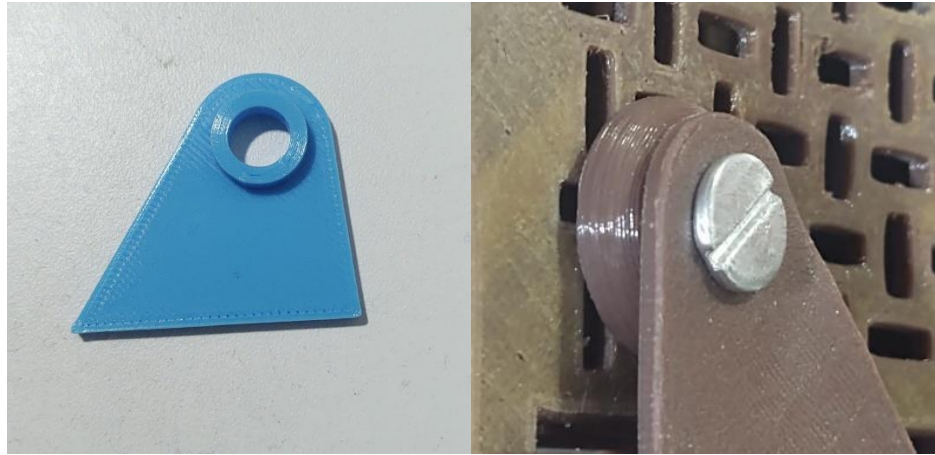


Fig. 6 Muesca y unión de la palma, arandela y cubierta, respectivamente.

Por consiguiente, se procedió a imprimir en 3D las piezas rediseñadas, la palma con su respectivo orificio y la cubierta final, con dos aberturas presentes en la parte inferior para el paso del velcro. En la Fig. 7 se pueden observar los diseños finales y los parámetros tenidos en cuenta, tales como: material PLA, relleno del 40%, sin soportes y con adhesión de tipo brim. Cabe aclarar, que se usa un relleno del 40% para que las piezas a imprimir posean un soporte estructural interno ni muy sólido ni muy liviano, ya que estas piezas no necesitan estar completamente compactas en su interior. Además, no se usan soportes pues no se necesitan sostener partes de las piezas que quedan en el aire, y finalmente el brim se usó para brindar adhesión de la palma y la cubierta a la cama de impresión.

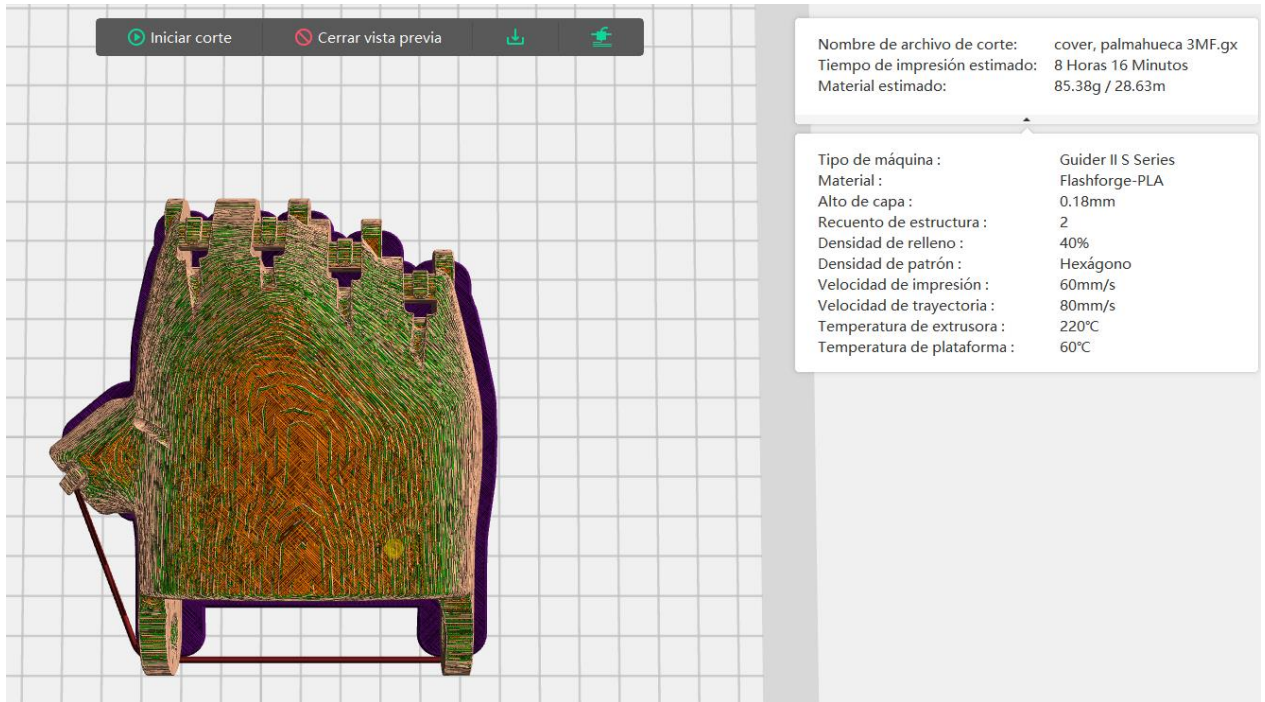


Fig. 8 Parámetros de impresión 3D de la palma en el software FlashPrint.



Fig. 9 Parámetros de impresión 3D de la cubierta en el software FlashPrint.

Acto seguido, se procede a realizar el termoformado de la cubierta para ensamblarlo a la palma y al antebrazo previamente impresos. El resultado final se puede ver en las siguientes figuras.



Fig. 10 Unlimbited con cubierta rediseñada.

Respecto al segundo objetivo planteado se tiene:

- Objetivo específico 2: Validar la funcionalidad de la cubierta para el dispositivo Unlimbited con los beneficiarios.

*F. Fase 6: Validación por expertos y beneficiario*

Enfoque: Cualitativos.

Una vez desarrollada la cubierta, se sometió a la validación por los expertos de diseño de la corporación, quienes emitieron un concepto favorable sobre el diseño y la funcionalidad. Además, se validó la cubierta por el beneficiario, quien manifestó sentirse satisfecho con el producto final.

## VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### A. *Diseño de la cubierta en el software Fusion 360*

El diseño final de la cubierta posee las siguientes características:

- Diámetro del orificio de unión de la cubierta con la pieza de la palma de la Unlimbited (ver Fig. 5), este se definió en 7.504mm al igual que los orificios de la pieza del antebrazo para mantener uniformidad, tal como se puede mostrar a continuación.

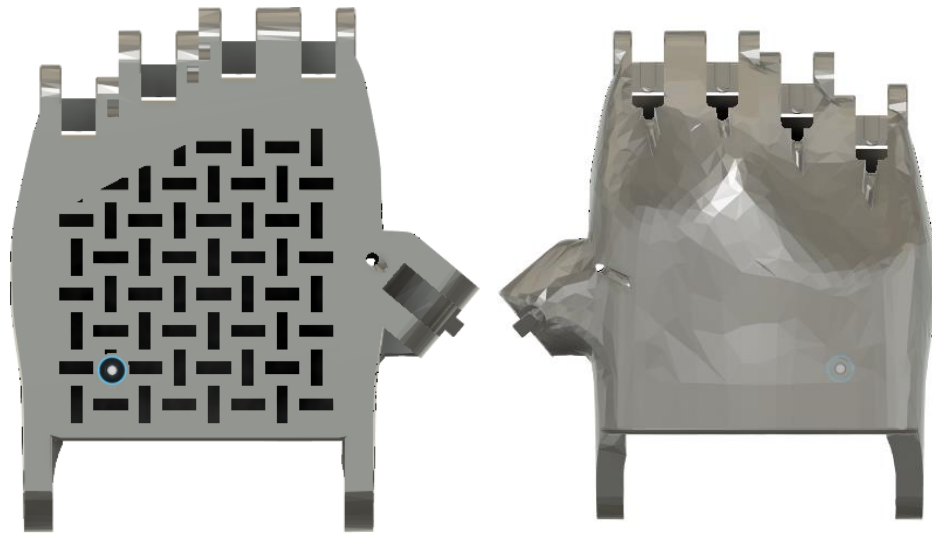


Fig. 11 Vista anterior y posterior de la palma con orificio diseñado respectivamente.

- El largo de la cubierta, la cual se debe asegurar que cubra totalmente la parte de la amputación del antebrazo del beneficiario, esto para que la parte de la amputación no esté a la vista.
- Espacio de encaje de la cubierta con la pieza del antebrazo, esto se refiere al semicírculo que posee la cubierta en la parte superior (ver Fig. 5), y se hizo para que la cubierta encajara en la parte de unión del antebrazo con la palma. Cabe recalcar que se hicieron varias pruebas de usabilidad para poder determinar cuál era la

---

medida adecuada que debía tener este espacio para que el cover fuese fácil de abrir y cerrar sin impedimentos o sin un mayor esfuerzo.

- La nueva cubierta presenta un grosor optimizado para garantizar resistencia y durabilidad, al mismo tiempo que se busca mantenerla lo más delgada posible para no añadir peso innecesario al dispositivo, esta medida se mantuvo en 2mm, al igual que la cubierta existente desarrollada en la corporación.
- Las dos aberturas que posee la cubierta en la parte inferior son para que por allí pase el velcro, el cual tiene como función asegurar la cubierta para que no se abra inesperadamente. Estas se hicieron en esa ubicación de la parte inferior de la cubierta para garantizar un diseño estético. (Ver Fig. 9)
- La cubierta tiene esa forma curva (ver Fig. 10) en todas las esquinas por estética y por seguridad, ya que las esquinas puntiagudas pueden ocasionar algún daño a los beneficiarios.

Por otra parte, se definen los requerimientos y métricas, que debe tener la cubierta o cover para el dispositivo Unlimbited, las cuales fueron establecidas con ayuda de los comentarios de los ingenieros de la corporación, un beneficiario y las asesoras:

*B. Requerimientos y métricas del cover para el dispositivo de asistencia Unlimbited*

*1. Estético:*

Los resultados obtenidos en la evaluación estética de las cubiertas rediseñadas reflejan una buena percepción visual. La forma agradable a la vista, el tamaño adecuado y la armonización con el dispositivo Unlimbited contribuyen a una mayor satisfacción y aceptación por parte del beneficiario. Las preguntas realizadas al beneficiario y a los ingenieros de la corporación indican que la mayoría percibe las nuevas cubiertas como estéticamente atractivas. Este aspecto es crucial ya que puede influir positivamente en el uso continuo del dispositivo, mejorando así la calidad de vida de los beneficiarios.

## 2. *Facilidad de uso*

Las pruebas técnicas realizadas para evaluar la facilidad de uso al abrir y cerrar la cubierta rediseñada han arrojado resultados prometedores. La eficiencia y la rapidez en este proceso han mejorado significativamente en comparación con la cubierta existente. Las cubiertas se abren y cierran sin impedimentos, y el tiempo requerido para colocarlas es inferior a 2 minutos, cumpliendo con el objetivo establecido. Estos resultados pueden facilitar las actividades diarias de los beneficiarios, permitiéndoles una experiencia más eficaz y sencilla.

## 3. *Cómodo:*

La comodidad de las cubiertas rediseñadas ha sido evaluada a través de preguntas dirigidas al beneficiario. Los resultados indican una reducción significativa en la incomodidad al colocar y retirar las cubiertas en comparación con la cubierta actualmente utilizada. Este hallazgo es de gran relevancia, ya que la mejora en la comodidad contribuye directamente a una mejor calidad de vida, autoestima y satisfacción general de los beneficiarios. La retroalimentación proporcionada por los usuarios será esencial para realizar ajustes adicionales si es necesario.

## 4. *Liviano*

Se tiene que el peso de la Unlimited con la cubierta se mantiene por debajo de los 500g, cumpliendo con el requerimiento establecido. Por otra parte, el grosor de la cubierta se definió en 2mm, al igual que la cubierta ya existente, debido a que con esta medida se garantiza el uso moderado de material de impresión 3D (PLA), además de un tiempo de impresión no tan elevado, exactamente de 3h 39mins (ver Fig. 9) y la facilidad para termoformar. Esta característica es fundamental para prevenir la fatiga en los beneficiarios durante el uso prolongado



del dispositivo. La ligereza de la cubierta asegura que el peso total del dispositivo no cause incomodidad ni afecte negativamente la experiencia de los usuarios.

*C. Validación de la cubierta por el beneficiario*

A continuación, se pueden observar fotografías de la validación del funcionamiento y de los requerimientos de la cubierta en el dispositivo de asistencia Unlimbited con un beneficiario.



Fig. 12 Cubierta final con velcros colocada al beneficiario.

Por otra parte, estos resultados respaldan la efectividad de la reestructuración del diseño de la cubierta para dispositivos Unlimbited. La atención a medidas específicas, el cuidadoso ajuste de dimensiones, la facilidad de uso y la consideración de la estética y el peso han llevado a mejoras tangibles que impactarán positivamente en la calidad de vida de los beneficiarios. Además, las imágenes de los diseños generadas en Fusion 360, las fotografías, el video y audio grabados (ver ANEXOS) de la validación de la cubierta final colocada en el beneficiario, brindan una representación visual y auditiva de los cambios implementados y serán valiosas para comunicar eficazmente las mejoras a las diferentes partes interesadas. Por último, la retroalimentación continua de los beneficiarios y la colaboración con expertos en diseño son esenciales para continuar refinando y perfeccionando el diseño en futuras iteraciones.

## VII. CONCLUSIONES

En conclusión, la investigación y reestructuración del diseño de la cubierta para dispositivos de asistencia de miembro superior Unlimbited han recibido una valoración positiva por parte de la corporación y de los beneficiarios por sus características, tales como:

La atención cuidadosa a detalles estéticos ha llevado a mejoras visuales significativas, destacándose la integración armoniosa de la cubierta con el dispositivo, lo cual se anticipa que contribuirá a una mayor aceptación por parte de los beneficiarios.

Además, la facilitación del proceso de montaje y desmontaje mediante el rediseño de los orificios de unión y de la cubierta en general, no solo ha mejorado su desempeño, sino que también ha promovido la usabilidad y la adaptación del dispositivo al usuario. Estos cambios apuntan a una experiencia más amigable y eficaz para los usuarios, demostrando la importancia de considerar la interacción directa del beneficiario con el dispositivo.

La optimización de la forma de la cubierta ha sido un factor clave para reducir la incomodidad al colocar y retirar el dispositivo, contribuyendo directamente a la mejora de la comodidad general del usuario. Mantener el peso total del conjunto por debajo de los 500g asegura que la Unlimbited, con su nueva cubierta, continúe siendo liviana y evite la fatiga durante su uso prolongado, respaldando así la comodidad a lo largo del tiempo.

La colaboración activa con los beneficiarios y expertos en diseño ha sido una constante a lo largo del proyecto. Esta interacción ha permitido ajustes iterativos y refinamientos continuos, asegurando que el diseño no solo cumpla con los estándares técnicos, sino que también satisfaga las necesidades específicas de los usuarios.

En última instancia, la reestructuración del diseño de la cubierta para dispositivos Unlimbited representa un paso significativo hacia la mejora integral de estos dispositivos de asistencia. Con impactos potencialmente positivos en la calidad de vida de los beneficiarios, este trabajo sienta las bases para futuras iteraciones y desarrollos que continuarán proporcionando soluciones efectivas y cómodas para aquellos que dependen de estos dispositivos para mejorar su movilidad y autonomía diaria.

## VIII. RECOMENDACIONES

En aras de fortalecer y perfeccionar el proyecto de rediseño de la cubierta para el dispositivo Unlmbited, se sugieren diversas recomendaciones para futuras investigaciones y desarrollos.

En primer lugar, se propone llevar a cabo una evaluación continua con usuarios a largo plazo, permitiendo así recopilar una retroalimentación sostenida sobre el rendimiento de las cubiertas rediseñadas en diversas situaciones y contextos diarios. Esto proporcionaría información valiosa para realizar ajustes y mejoras continuas.

Además, se sugiere considerar la posibilidad de realizar iteraciones adicionales en el diseño, teniendo en cuenta la retroalimentación de los usuarios y profesionales de la salud. Esto podría incluir ajustes en aspectos ergonómicos, como forma y tamaño, para optimizar aún más la experiencia del usuario.

Un enfoque crucial para futuras investigaciones sería la realización de estudios más profundos sobre el impacto psicosocial de las cubiertas rediseñadas. Evaluar cómo los cambios estéticos y de comodidad afectan la autoestima, la confianza y las interacciones sociales de los beneficiarios sería fundamental para comprender plenamente el alcance del impacto de las mejoras propuestas.

La exploración de nuevos materiales innovadores que mejoren la comodidad, durabilidad y estética de las cubiertas también debería ser un área de interés para futuras investigaciones. La adopción de tecnologías de fabricación avanzadas podría ofrecer nuevas posibilidades en este sentido.

Es fundamental implementar programas de capacitación y educación para usuarios y profesionales de la salud sobre el uso óptimo y los beneficios de las cubiertas rediseñadas. Esto puede contribuir a una adopción más efectiva de la nueva tecnología y también considerar la posibilidad de aplicar los principios de diseño desarrollados en este proyecto a otros dispositivos de asistencia para miembros superiores sería una extensión natural del trabajo. Esto ampliaría el alcance del impacto positivo en la comunidad de beneficiarios.

Finalmente, se insta a participar activamente en comunidades y eventos relacionados con la tecnología de asistencia y las prótesis. Compartir los hallazgos y aprendizajes del proyecto en estos

entornos puede fomentar la colaboración y el intercambio de conocimientos con otras organizaciones y expertos en el campo. Estas recomendaciones ofrecen una guía para el desarrollo continuo del proyecto y para la expansión de sus beneficios en el ámbito de las prótesis y dispositivos de asistencia para miembros superiores.

## IX. REFERENCIAS

- [1] Team Unlimbited. (2017). The UnLimbited Arm v2.1 - Alfie Edition. <https://www.thingiverse.com/thing:1672381>
- [2] Team Unlimbited. (n.d.). Team Unlimbited. Retrieved September 24, 2023, from <https://www.teamunlimbited.org/about>.
- [3] Esteban Rojas. (n.d.). Diseño del cover para Unlimbited. Retrieved September 25, 2023, from <https://acortar.link/c61iWj>.
- [4] Hero Arm Covers. (n.d.). Retrieved September 25, 2023, from Hero Arm Covers.
- [5] ArmPO. (2018). <https://www.thingiverse.com/thing:2803120>.

## X. ANEXOS

- Validación de la cubierta con un beneficiario con amputación transradial:  
<https://youtube.com/shorts/I-xr-6dHd7o?si=rEvG0dKNSZYMCHPQ>
- Audio de la apreciación del beneficiario con la cubierta:  
[https://drive.google.com/file/d/1S\\_0jPTUQj7bUWH-4WOyrThoAZAv-Ko7h/view?usp=sharing](https://drive.google.com/file/d/1S_0jPTUQj7bUWH-4WOyrThoAZAv-Ko7h/view?usp=sharing)